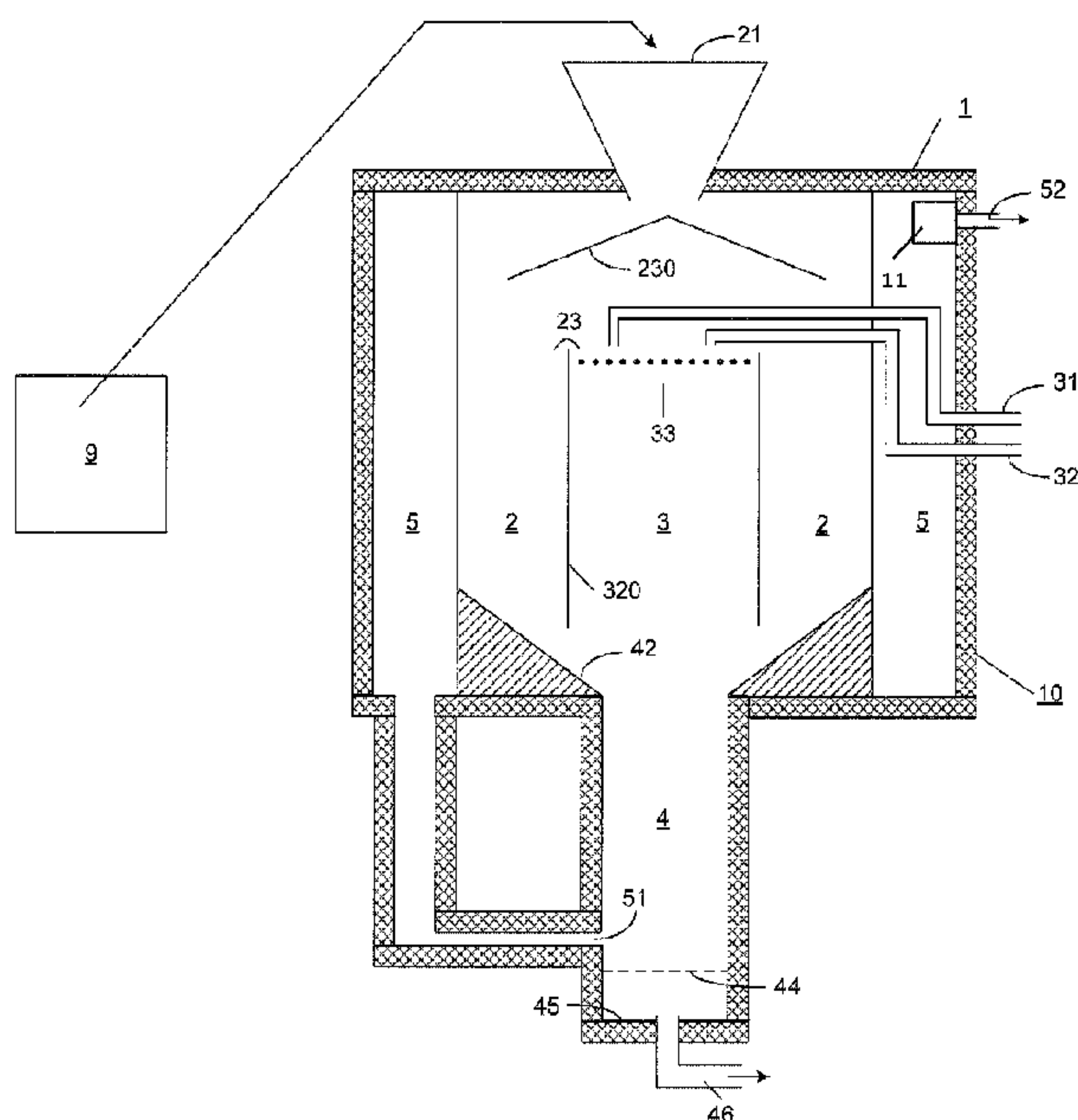




(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2011/10/05
 (87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2012/04/19
 (45) Date de délivrance/Issue Date: 2019/01/15
 (85) Entrée phase nationale/National Entry: 2013/04/09
 (86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 2011/052318
 (87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2012/049400
 (30) Priorité/Priority: 2010/10/12 (FR1058252)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *C10J 3/60* (2006.01),
C10J 1/00 (2006.01), *C10J 3/20* (2006.01)
 (72) Inventeurs/Inventors:
CHEN, LI, FR;
KERIHUEL, ANTHONY, FR;
GERUN, LUC, FR
 (73) Propriétaire/Owner:
GAZ VERT INTERNATIONAL (GVI), FR
 (74) Agent: LAVERY, DE BILLY, LLP

(54) Titre : DISPOSITIF POUR LA TRANSFORMATION D'UN COMBUSTIBLE
 (54) Title: DEVICE FOR THE CONVERSION OF A FUEL



(57) **Abrégé/Abstract:**

L'invention concerne un dispositif pour la transformation d'un combustible comprenant des composants solides, dit combustible solide, en un combustible gazeux. Ledit dispositif comprend une zone de pyrolyse (2) du combustible solide comprenant des moyens de pyrolyse permettant de décomposer ledit combustible solide en un gaz de pyrolyse et en un résidu de pyrolyse solide, appelé coke, une zone de combustion (3) dudit gaz de pyrolyse, distincte de la zone de pyrolyse (2), comprenant des moyens de combustion (31, 32, 33). Le dispositif comprend également des moyens de mise en circulation du gaz de pyrolyse, depuis ladite zone de pyrolyse (2) jusqu'à la zone de combustion (3). Selon l'invention, ladite zone de combustion (3) est entourée par ladite zone de pyrolyse (2).

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale
WO 2012/049400 A1

(43) Date de la publication internationale
19 avril 2012 (19.04.2012)

- (51) Classification internationale des brevets :
C10J 3/60 (2006.01) *C10J 1/00* (2006.01)
C10J 3/20 (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2011/052318
- (22) Date de dépôt international :
5 octobre 2011 (05.10.2011)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
1058252 12 octobre 2010 (12.10.2010) FR
- (71) Déposant (*pour tous les États désignés sauf US*) : **S3D**
[FR/FR]; 9 rue Alfred Kastler, Immeuble La Chantrerie,
F-44300 Nantes (FR).
- (72) Inventeurs; et
- (75) Inventeurs/Déposants (*pour US seulement*) : **CHEN, Li**
[CN/FR]; Appt A414, Résidence Einstein II, 30
Boulevard Albert Einstein, F-44300 Nantes (FR).
KERIHUEL, Anthony [FR/FR]; 80 rue Saint Georges,
F-44390 Nort Sur Erdre (FR). **GERUN, Luc** [FR/FR]; 2
allée des Noisetiers, F-90100 Thiancourt (FR).
- (74) Mandataires : **GODINEAU, Valérie** et al.; Brema-
Loyer, 9, Rue Edmé Mariotte, B.P. 70620, F-44306
Nantes Cedex 3 (FR).
- (81) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre
de protection nationale disponible*) : AE, AG, AL, AM,
AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ,
CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU,
RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ,
TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA,
ZM, ZW.
- (84) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre
de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ,
UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD,
RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ,
DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT,
LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS,
SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : DEVICE FOR THE CONVERSION OF A FUEL

(54) Titre : DISPOSITIF POUR LA TRANSFORMATION D'UN COMBUSTIBLE

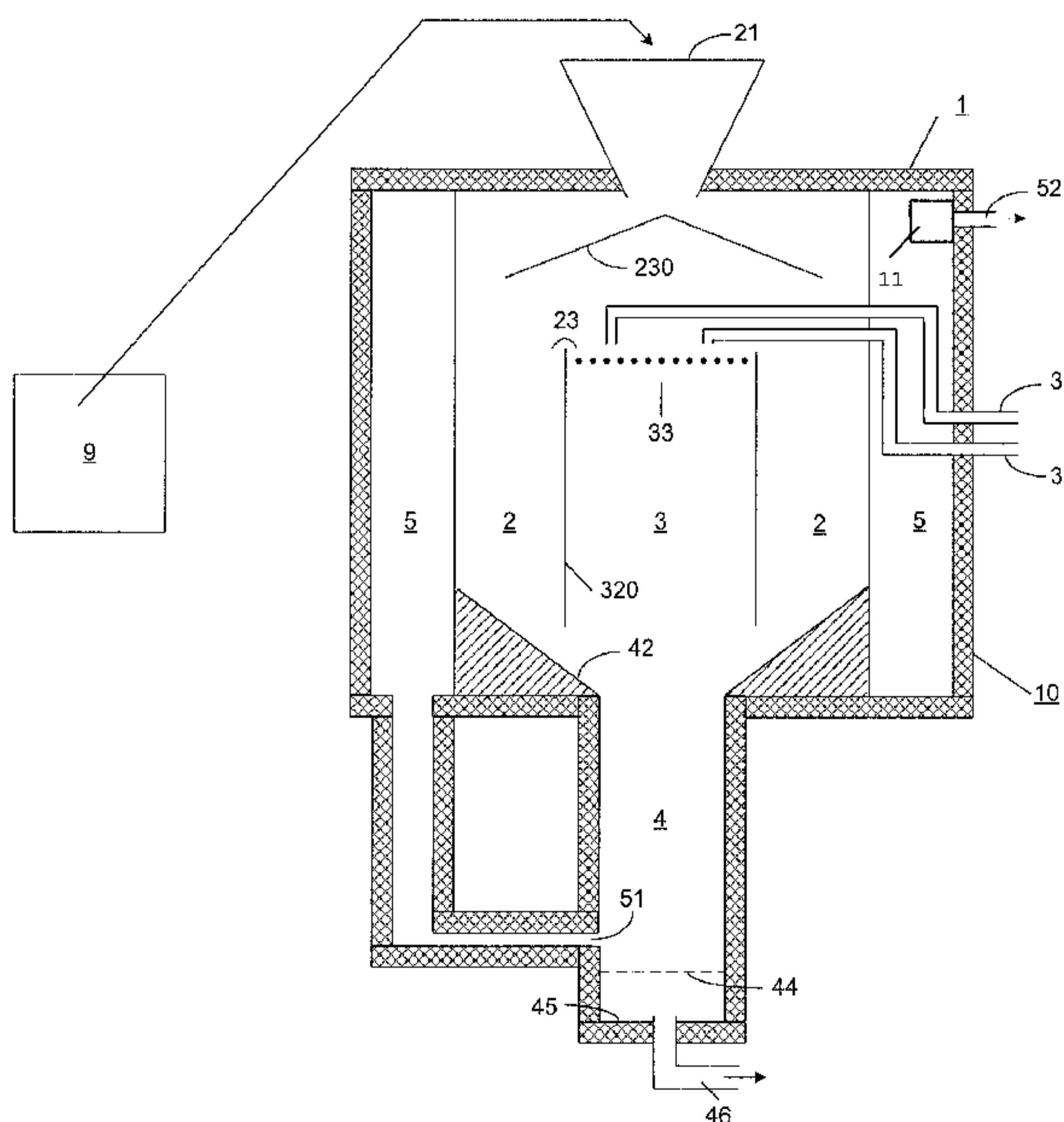


FIG. 1

ladite zone de pyrolyse (2).

(57) Abstract : The invention relates to a device for the conversion of a fuel comprising solid components, referred to as solid fuel, into a gaseous fuel. Said device comprises a zone (2) for pyrolysis of the solid fuel comprising pyrolysis means that make it possible to decompose said solid fuel into a pyrolysis gas and into a solid pyrolysis residue, referred to as coke, a zone (3) for combustion of said pyrolysis gas, different from the pyrolysis zone (2), comprising combustion means (31, 32, 33). The device also comprises means for circulating the pyrolysis gas from said pyrolysis zone (2) to the combustion zone (3). According to the invention, said combustion zone (3) is surrounded by said pyrolysis zone (2).

(57) Abrégé : L'invention concerne un dispositif pour la transformation d'un combustible comprenant des composants solides, dit combustible solide, en un combustible gazeux. Ledit dispositif comprend une zone de pyrolyse (2) du combustible solide comprenant des moyens de pyrolyse permettant de décomposer ledit combustible solide en un gaz de pyrolyse et en un résidu de pyrolyse solide, appelé coke, une zone de combustion (3) dudit gaz de pyrolyse, distincte de la zone de pyrolyse (2), comprenant des moyens de combustion (31, 32, 33). Le dispositif comprend également des moyens de mise en circulation du gaz de pyrolyse, depuis ladite zone de pyrolyse (2) jusqu'à la zone de combustion (3). Selon l'invention, ladite zone de combustion (3) est entourée par

WO 2012/049400 A1 

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

— avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues (règle 48.2.h))

DISPOSITIF POUR LA TRANSFORMATION D'UN COMBUSTIBLE

La présente invention concerne de manière générale la gazéification de combustibles comprenant des composants solides.

5

L'invention concerne plus particulièrement un dispositif pour la transformation d'un combustible comprenant des composants solides, dit combustible solide, en un combustible gazeux, ledit dispositif comportant :

- une zone de pyrolyse du combustible solide comprenant des moyens de pyrolyse permettant de décomposer ledit combustible solide en un gaz de pyrolyse et en un résidu de pyrolyse solide, appelé coke,
- une zone de combustion dudit gaz de pyrolyse, distincte de la zone de pyrolyse, comprenant des moyens de combustion.

15 Ledit combustible gazeux obtenu à l'aide d'un tel dispositif est un gaz énergétique, généralement appelé syngaz, qui peut être utilisé pour faire fonctionner des équipements adaptés tels que des moteurs, des turbines ou encore des piles à combustible. Cependant, le syngaz contient souvent des goudrons et les équipements adaptés pour être alimentés en syngaz, 20 présentent un faible seuil de tolérance aux goudrons. La condensation des goudrons dans ces équipements entraîne, au-delà du seuil de tolérance correspondant, une détérioration rapide dudit équipement.

Il existe des unités de traitement de gaz spécifiques qui permettent de réduire 25 la quantité de goudrons restante dans le syngaz. Mais ces unités de traitement sont volumineuses et onéreuses.

On connaît également de l'état de la technique des dispositifs dits à gazéification étagée qui comprennent une zone de pyrolyse et une zone de 30 combustion distincte. Le gazogène du producteur danois TK Energi AS en est un exemple. Un tel dispositif permet de réduire le taux de goudrons du syngaz obtenu du fait de la séparation des étapes de pyrolyse et de combustion

partielle.

Cependant, dans un tel dispositif connu de l'état de la technique, une partie du combustible solide est brûlée pour fournir la chaleur nécessaire à la pyrolyse.

5 Cette combustion directe du solide entraîne une perte de rendement énergétique du dispositif, ainsi que l'émission de gaz polluants, tels que des dioxines.

En outre, lesdites zones de pyrolyse et de combustion sont agencées en étant
10 positionnées bout à bout, de telle sorte que le coke issu de la pyrolyse du combustible traverse la zone de combustion pour former un lit de réduction dans la zone de réduction, ce qui génère un encombrement important du dispositif et augmente le risque d'émissions polluantes. Enfin, l'agencement des zones de pyrolyse et de combustion dans de tels dispositifs entraîne des
15 pertes d'énergie importantes au niveau de la zone de combustion qui ne profitent pas à la zone de pyrolyse.

On connaît également du document US2009/282738, un dispositif de transformation d'un combustible solide en un combustible gazeux qui
20 comprend une zone de pyrolyse et une zone de combustion munie de moyens de combustion.

Mais, dans le dispositif du document US2009/282738, le combustible solide est brûlé dans la zone de combustion et les gaz de combustion circulent ensuite
25 dans la zone de pyrolyse.

Le dispositif de ce document US2009/282738 génère ainsi le même problème que celui proposé par le producteur danois TK Energi AS qui brûle du carburant solide pour fournir l'apport d'énergie. Une telle combustion du
30 combustible solide génère des émissions polluantes et une perte de rendement énergétique.

En outre, la solution de ce document US2009/282738 ne vise pas à obtenir un gaz énergétique, mais une huile de pyrolyse. Il est alors nécessaire de brûler du combustible solide dans la zone de combustion tout au long du fonctionnement du dispositif pour avoir un apport de chaleur afin de réaliser la
5 réaction de pyrolyse.

Le document WO0240618A1 décrit un dispositif comprenant une zone de pyrolyse centrale entourée d'une zone de combustion. Une telle configuration permet de transmettre une partie de la chaleur issue de la combustion à la
10 zone de pyrolyse, mais on constate d'importantes pertes de chaleur de la zone de combustion vers l'extérieur du dispositif. Ainsi, la récupération de la chaleur par la zone de pyrolyse n'est pas optimisée.

La présente invention a pour but de proposer un dispositif de transformation
15 d'un combustible solide en un combustible gazeux qui permet de limiter les pertes thermiques de la zone de combustion vers l'extérieur du dispositif et d'améliorer la récupération de chaleur par la zone de pyrolyse.

Un autre but de la présente invention est de proposer un dispositif de
20 transformation d'un combustible solide en un combustible gazeux, appelé syngaz, dont la quantité d'impuretés, notamment de goudrons, est réduite.

Un autre but de la présente invention est de proposer un dispositif de transformation d'un combustible solide en un combustible gazeux, appelé
25 syngaz, grâce auquel l'émission de polluants, tels que des dioxines et des métaux, est réduite.

A cet effet, l'invention a pour objet un dispositif pour la transformation d'un combustible comprenant des composants solides, dit combustible solide, en un
30 combustible gazeux, ledit dispositif comportant :

- une zone de pyrolyse du combustible solide comprenant des moyens de pyrolyse permettant de décomposer ledit combustible solide en un gaz de

pyrolyse et en un résidu de pyrolyse solide, appelé coke,

- une zone de combustion dudit gaz de pyrolyse, distincte de la zone de pyrolyse, comprenant des moyens de combustion,

- des moyens de mise en circulation de gaz pour faire circuler ledit gaz de pyrolyse, depuis ladite zone de pyrolyse jusqu'à la zone de combustion, caractérisé en ce que ladite zone de combustion est entourée par ladite zone de pyrolyse.

Grâce à la conception du dispositif selon l'invention selon laquelle la zone de pyrolyse entoure la zone de combustion, les pertes thermiques de la zone de combustion vers l'extérieur du dispositif sont réduites tandis que la récupération de la chaleur par la zone de pyrolyse est favorisée, du fait du transfert de chaleur depuis la zone de combustion vers la zone de pyrolyse qui ceinture la zone de combustion.

15

Comme la zone de combustion est séparée de la zone de pyrolyse, le combustible solide n'est pas en contact avec le comburant, tel que de l'air, injecté dans la zone de combustion, ce qui permet de limiter l'émission de polluants.

20

En effet, grâce à la pyrolyse du bois, de préférence à une température autour de 500°C, les métaux et le chlore restent dans le coke issu de la pyrolyse du bois, tandis que le gaz de pyrolyse est dépourvu d'éléments polluants. En outre, la combustion du gaz de pyrolyse, en l'absence de combustible solide dans la zone de combustion, permet de craquer un maximum de goudrons.

25

Le passage de communication entre la zone de pyrolyse et la zone de combustion est réalisé en partie supérieure de la zone de pyrolyse et de la zone de combustion. Ainsi, le gaz de pyrolyse peut passer de la zone de pyrolyse vers la zone de combustion, tandis que les parties solides ne passent pas dans la zone de combustion et restent dans ladite zone de pyrolyse avant de passer, comme détaillé ci-après, dans la zone de réduction lorsque leur

30

taille devient suffisamment petite du fait de la pyrolyse.

Une telle configuration de la zone de combustion autour de la zone de pyrolyse permet de réduire l'encombrement du dispositif et de bénéficier du transfert de
5 chaleur issu de la combustion depuis la zone de combustion vers la zone de pyrolyse par conduction à travers la ou les paroi(s) de séparation des deux zones entre elles comme détaillé ci-après.

En outre, la zone du dispositif qui se trouve à très haute température est
10 confinée dans la zone de combustion, par exemple au niveau du brûleur, ce qui réduit la quantité de matériaux résistants aux hautes températures à utiliser pour la conception du dispositif. Cela permet également de réduire les pertes thermiques et donc de maximiser le rendement total du procédé de transformation.

15

Selon une caractéristique avantageuse de l'invention, ladite zone de combustion est logée de manière coaxiale dans ladite zone de pyrolyse.

Lesdites zones de pyrolyse et de combustion sont délimitées entre deux parois
20 cylindriques de sections circulaires et coaxiales de sorte que la zone de combustion forme une zone circulaire centrée dans ledit espace annulaire qui délimite la zone de pyrolyse.

Selon une caractéristique avantageuse de l'invention, ledit dispositif comprend
25 une zone de réduction qui présente un passage de communication avec la zone de pyrolyse pour la collecte du coke, issu de la pyrolyse du combustible solide, un emplacement de réception dudit coke et un passage de communication avec la zone de combustion pour l'arrivée dans ladite zone de réduction du gaz issu de la combustion du gaz de pyrolyse afin d'enrichir au
30 moins en hydrogène ledit gaz issu de la combustion du gaz de pyrolyse.

Avantageusement, lesdits moyens de mise en circulation de gaz sont

également configurés pour assurer la circulation du gaz issu de la combustion du gaz de pyrolyse depuis ladite zone de combustion jusqu'à la zone de réduction.

- 5 Grâce à une telle configuration du dispositif, les différentes étapes de la gazéification, à savoir la pyrolyse, la combustion et la réduction, sont séparées physiquement, ce qui permet d'optimiser chacune de ces étapes de transformation.
- 10 Préférentiellement, ledit passage de communication comprend une pente descendante depuis la zone de pyrolyse jusqu'à la zone de réduction pour permettre la collecte par gravité du coke dans son emplacement de réception.

Avantageusement, la pente forme le fond de la zone de pyrolyse et s'étend
15 autour de la zone de combustion pour former un cône de guidage du coke vers la zone de réduction. Ladite zone de pyrolyse étant de forme annulaire et délimitée entre une paroi périphérique externe et une paroi périphérique interne, ladite pente délimite avec la paroi périphérique interne, une sortie,
pour le résidu solide issu de la pyrolyse du combustible solide, de hauteur
20 inférieure à la distance d'écartement desdites parois périphériques entre elles.

Ladite zone de pyrolyse de forme annulaire présente, en section transversale, un pourtour interne et un pourtour externe qui sont, de préférence, de géométrie circulaire, mais on peut envisager que lesdits pourtours interne et
25 externe de la zone de pyrolyse annulaire présentent une autre géométrie.

Avantageusement, ledit dispositif comprend des moyens de filtration du gaz issu de la réduction du coke configurés pour filtrer ledit gaz et réinjecter les particules solides, telles que poussières, cendres, contenues dans ledit gaz, à
30 l'intérieur de la zone de réduction.

Selon une caractéristique avantageuse de l'invention, lesdits moyens de

combustion comprennent une arrivée de comburant, de préférence de l'air, et des moyens d'amorçage de la réaction entre le comburant et le gaz de pyrolyse.

5 Selon un mode de réalisation de l'invention, ladite zone de combustion et ladite zone de pyrolyse comprennent une paroi de séparation commune. Avantageusement, ladite zone de réduction est située au moins partiellement sous ladite zone de combustion et/ou sous ladite zone de pyrolyse.

10 Selon une caractéristique avantageuse de l'invention, ladite zone de réduction est située au moins partiellement entre ladite zone de combustion et ladite zone de pyrolyse en entourant la zone de combustion.

Autrement dit, la zone de réduction sépare ladite zone de combustion de ladite
15 zone de pyrolyse. En particulier, la zone de combustion est entourée par la zone de réduction qui est elle-même entourée par la zone de pyrolyse de sorte que la zone de réduction est délimitée entre une paroi qui délimite le pourtour périphérique interne de la zone de pyrolyse et une paroi périphérique qui délimite la zone de combustion.

20

Préférentiellement, ledit dispositif comprend une zone de circulation du gaz issu de la réduction du coke, configurée pour permettre audit gaz de circuler autour de la zone de pyrolyse pour transmettre au moins une partie de sa
25 chaleur à la zone de pyrolyse par conduction avec une paroi, de préférence la paroi périphérique externe, de ladite zone de pyrolyse.

Ainsi, la zone de pyrolyse est chauffée à la fois par la zone de combustion et par le gaz circulant dans la zone de circulation qui entoure la zone de pyrolyse afin de favoriser la récupération d'énergie par la zone de pyrolyse.

30

Avantageusement, ledit dispositif comprend des moyens de séchage du combustible solide communiquant avec l'entrée de la zone de pyrolyse pour le

séchage du combustible solide préalablement à son introduction dans ladite zone de pyrolyse.

Selon une caractéristique avantageuse de l'invention, ledit dispositif comprend
5 des moyens d'injection de vapeur d'eau dans la zone de réduction, de préférence de la vapeur d'eau issue des moyens de séchage lorsqu'ils sont présents.

Préférentiellement, le dispositif présentant une paroi externe, au moins une
10 partie de la paroi externe du dispositif comprend des moyens d'isolation thermique.

L'invention concerne également un procédé de transformation d'un combustible
comprenant des composants solides, dit combustible solide, en un combustible
15 gazeux, à l'aide d'un dispositif tel que décrit ci-dessus, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :

- a) pyrolyse du combustible solide dans la zone de pyrolyse pour décomposer ledit combustible solide en un gaz de pyrolyse et en un résidu de pyrolyse solide, appelé coke,
- 20 b) combustion, de préférence partielle, dudit gaz de pyrolyse dans ladite zone de combustion.

Selon une caractéristique avantageuse de l'invention, pour l'amorçage de ladite transformation, la zone de combustion est préchauffée, de préférence à
25 l'aide d'un brûleur, et, une fois ladite transformation amorcée, le préchauffage est réduit, et de préférence arrêté.

Selon une caractéristique avantageuse de l'invention, ledit procédé comprend également l'étape supplémentaire suivante :
30 c) réduction du gaz issu de la combustion partielle du gaz de pyrolyse, de préférence pour enrichir en dihydrogène ledit gaz.

Avantageusement, ladite réduction du gaz issu de la combustion partielle du gaz de pyrolyse est réalisée par réaction entre ledit gaz et le coke issu de la pyrolyse du combustible solide.

- 5 Préférentiellement, le gaz issu de la réduction circule autour de la zone de pyrolyse pour transmettre au moins une partie de sa chaleur à la zone de pyrolyse.

Avantageusement, ledit combustible solide est amené, de préférence après
10 séchage, dans la zone de pyrolyse et est absent de la zone de combustion.

L'invention sera bien comprise à la lecture de la description suivante d'exemples de réalisation, en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 est une vue d'un dispositif de transformation selon l'invention,
15 conformément à un premier mode de réalisation ;
- la figure 2 est une vue d'un dispositif de transformation selon l'invention, conformément à un deuxième mode de réalisation ;
- la figure 3 est une vue d'un dispositif de transformation selon l'invention, conformément à un troisième mode de réalisation.

20

En référence aux figures et comme rappelé ci-dessus, l'invention concerne un dispositif pour la transformation d'un combustible comprenant des composants solides, dit combustible solide, en un combustible gazeux, appelé syngaz. Un tel dispositif est également appelé gazogène.

25

La gazéification est une technologie de conversion thermochimique du combustible solide en un gaz combustible, ledit syngaz, composé notamment de H₂ et de CO.

- 30 Il doit être noté que le terme "solide" utilisé englobe les solides en tant que tels, par exemple des morceaux de bois, mais également des granulés, ou de fins éléments, tels que des sciures de bois.

Différentes gammes de matières organiques solides peuvent être utilisées pour former le combustible solide à transformer en combustible gazeux. Dans l'exemple détaillé ci-dessous, le combustible solide utilisé est du bois.

5

Le dispositif comprend une zone de pyrolyse 2 du combustible solide comprenant des moyens de pyrolyse permettant de décomposer ledit combustible solide en un gaz de pyrolyse et en un résidu de pyrolyse solide, appelé coke.

10

Le dispositif comprend également une zone de combustion 3 dudit gaz de pyrolyse, distincte de la zone de pyrolyse 2, comprenant des moyens de combustion 31, 32, 33 permettant de réaliser une combustion partielle du gaz de pyrolyse pour oxyder les goudrons et les autres hydrocarbures contenus dans ledit gaz de pyrolyse.

15

Le dispositif présente un chemin 23 de passage du gaz de pyrolyse vers la zone de combustion 3. Lesdits moyens de pyrolyse sont formés par la ou les parois qui délimitent la zone de pyrolyse et qui permettent de transmettre à l'intérieur de la zone de pyrolyse de la chaleur, sans apport d'oxygène particulier. Comme détaillé ci-après, cette source de chaleur vient principalement de manière directe ou indirecte de la chaleur dégagée par la zone de combustion.

20

De manière caractéristique à l'invention, ladite zone de combustion 3 est entourée par ladite zone de pyrolyse 2. Ladite zone de pyrolyse 2 s'étend autour de zone de combustion 3 sur au moins 180°. De préférence, ladite zone de pyrolyse 2 s'étend autour de zone de combustion 3 sur 360° de manière à l'entourer entièrement à la manière d'une ceinture.

30

Ladite zone de pyrolyse comprend une entrée d'alimentation 21 en combustible solide configurée de telle sorte que le combustible solide est amené dans la

zone de pyrolyse par un dôme en V renversé 230 qui s'étend en partie au-dessus de la zone de pyrolyse 2 et en partie au-dessus de la zone de combustion 3, sans rentrer dans la zone de combustion.

5 Dans l'exemple illustré aux figures 1 et 2, ledit chemin de passage 23 du gaz de pyrolyse vers la zone de combustion 3 est formé par l'ouverture en partie supérieure de la zone de combustion 3 qui communique avec la partie supérieure de la zone de pyrolyse 2, et un moyen de guidage, formé par le dôme en V renversé 230 pour guider le gaz de pyrolyse depuis la partie
10 supérieure de la zone de pyrolyse 2 vers la zone de combustion 3.

En particulier, ledit dispositif est muni de moyens de mise en circulation de gaz
11 pour faire circuler le gaz de pyrolyse, depuis ladite zone de pyrolyse 2 jusqu'à la zone de combustion 3. De manière plus générale, lesdits moyens de
15 mise en circulation de gaz sont configurés pour faire circuler le gaz présent dans le dispositif depuis la zone de pyrolyse 2 jusqu'à la sortie 52 dudit dispositif.

Dans l'exemple illustré à la figure 3 pour lequel la zone de pyrolyse est
20 séparée de la zone de combustion par la zone de réduction 4 comme détaillé ci-après, un ou plusieurs conduits 23 assurent le passage du gaz de pyrolyse depuis la zone de pyrolyse 2 vers la zone de combustion 3.

Lesdits moyens de combustion 31, 32, 33 de la zone de combustion 3
25 comprennent une arrivée 31 de comburant, de préférence de l'air, et des moyens d'amorçage 32, 33 de la réaction entre le comburant et le gaz de pyrolyse. Lesdits moyens d'amorçage sont formés par un brûleur 33 et une arrivée de combustible 32, de préférence du propane, autre que le gaz de pyrolyse, pour former avec le comburant amené par l'arrivée 31 une flamme
30 d'air à haute température, de préférence au moins 1000°C, afin de fournir la chaleur nécessaire pour la pyrolyse et amorcer la combustion partielle du gaz de pyrolyse. Après amorçage de la combustion partielle du gaz de pyrolyse,

c'est-à-dire pendant le fonctionnement normal du gazogène, le débit d'arrivée de combustible 32 peut être réduit voire annulé.

Comme détaillé ci-après et illustré aux figures 2 et 3, le dispositif peut être
5 équipé de moyens de séchage 6 du combustible solide pour obtenir un combustible solide sec et de l'eau à l'état vapeur.

La pyrolyse permet la transformation, à l'abri de l'oxygène de la zone de combustion, du combustible solide en un gaz dit gaz de pyrolyse et en un
10 résidu solide appelé coke. Le gaz de pyrolyse comprend des goudrons qui sont un mélange d'hydrocarbures ayant une température de condensation élevée, supérieure à celle du benzène. Comme détaillé ci-après, les goudrons sont produits lors de la pyrolyse puis oxydés et craqués thermiquement pendant la phase de combustion partielle dans la zone de combustion, et enfin craqués
15 catalytiquement dans la zone de réduction avec le coke.

La zone de combustion 3 permet d'oxyder partiellement le gaz de pyrolyse (goudrons et autres hydrocarbures) pour produire des molécules de CO₂ et de H₂O. La chaleur dégagée par l'oxydation partielle du gaz de pyrolyse dans la
20 zone de combustion 3 est transférée de manière directe ou indirecte au combustible solide présent dans la zone de pyrolyse 2 et au coke présent dans la zone de réduction 4.

Les moyens de combustion du gaz de pyrolyse forment ainsi au moins une
25 partie desdits moyens de pyrolyse. Autrement dit, la chaleur issue de la combustion partielle du gaz de pyrolyse est récupérée au moins en partie par la zone de pyrolyse 2 de sorte que la réaction de pyrolyse est auto-entretenue une fois amorcée la combustion partielle du gaz de pyrolyse.

30 Le combustible solide n'est pas en contact directement avec le comburant injecté dans la zone de combustion 3, ce qui diminue l'émission des polluants éventuels, tels que des dioxines et des métaux.

En particulier, chacune des zones de combustion et de pyrolyse est cylindrique, de section circulaire pour la zone de combustion 3 et de section annulaire pour la zone de pyrolyse 2. Ladite zone de combustion 3 est logée
5 de manière coaxiale dans ladite zone de pyrolyse 2.

Dans l'exemple illustré aux figures 1 et 2, l'oxydation partielle du gaz de pyrolyse dégage de la chaleur qui est transférée par la paroi périphérique 320 de séparation de la zone de pyrolyse 2 et de la zone de combustion 3, au
10 combustible solide présent dans la zone de pyrolyse 2. En particulier, dans l'exemple illustré aux figures 1 et 2, la paroi périphérique 320 sépare les deux zones de pyrolyse 2 et de combustion 3 en définissant le pourtour intérieur de la zone de pyrolyse 2 de forme annulaire et le pourtour extérieur de la zone de combustion 3 de forme circulaire.

15 Ledit dispositif comprend également une zone de réduction 4 qui présente un passage de communication 42 avec la zone de pyrolyse 2 pour la collecte du coke, issu de la pyrolyse du combustible solide, et un emplacement de réception 44 dudit coke pour former un lit de réduction. Ladite zone de
20 réduction comprend également un passage de communication 43 avec la zone de combustion 3 pour l'arrivée dans ladite zone de réduction 4 des produits, notamment CO, CO₂, CH₄, H₂O et H₂, issus de la combustion partielle des gaz de pyrolyse afin d'enrichir au moins en H₂ le gaz issu de la combustion partielle du gaz de pyrolyse.

25 A cet effet, lesdits moyens de mise en circulation de gaz 11 sont également configurés pour assurer la circulation du gaz issu de la combustion du gaz de pyrolyse depuis ladite zone de combustion jusqu'à la zone de réduction.

30 Lesdits moyens de mise en circulation 11 peuvent être formés par une turbine disposée à, ou au voisinage de, la sortie 52 du dispositif pour forcer la circulation de gaz depuis la zone de pyrolyse 2 jusqu'à la sortie 52 du

dispositif, en passant par la zone de combustion 3, et les autres zones de traitement, telles que la zone de réduction 4 et de préférence, comme détaillé ci-après, la zone de circulation 5 de gaz qui s'étend autour de la zone de réduction 4.

5

Le syngaz ainsi obtenu contient également du CO. Le passage de communication 42 est configuré pour ne pas passer par la zone de combustion 3 afin d'éviter la réaction du coke avec le comburant à haute température de la zone de combustion 3.

10

Ainsi, la pyrolyse avec le dispositif selon l'invention permet le dégagement des goudrons du combustible solide qui passent ensuite par la zone très chaude de combustion puis par le lit de coke. Il en résulte un craquage des goudrons qui permet non seulement d'éliminer le goudron en tant que tel, mais également
15 d'améliorer la composition du gaz final et d'augmenter la quantité de gaz produite

Dans l'exemple illustré aux figures 1 et 2, le lit de réduction formé par le coke présente de préférence une hauteur élevée, non seulement de manière à
20 réagir avec le gaz issu de la zone de combustion, afin de favoriser la production de H₂ et de CO, mais aussi pour servir de filtre afin d'éliminer au maximum les goudrons et les particules restant dans ledit gaz pour obtenir un gaz propre.

25 Dans l'exemple illustré à la figure 3, la chaleur dégagée par la zone de combustion 3 est transmise à la zone de pyrolyse 2 par l'intermédiaire des parois périphériques opposées de la zone de réduction 4 qui sont communes l'une avec la zone de combustion 3 et l'autre avec la zone de pyrolyse 2.

30 Le passage de communication 43 est situé du côté opposé au passage de communication 23 entre la zone de pyrolyse 2 et la zone de combustion 3 par rapport au centre de la zone de combustion de manière à récupérer le gaz issu

de la combustion partielle du gaz de pyrolyse, c'est-à-dire après oxydation des goudrons et des autres hydrocarbures.

Dans l'exemple illustré aux figures 1 et 2, ladite zone de réduction 4 est située
5 en dessous du niveau de ladite zone de combustion 3 et de ladite zone de pyrolyse 2. En outre, ladite zone de réduction 4 est située à l'aplomb de ladite zone de combustion 3 de manière à permettre aux produits CO₂ et H₂O issus de la combustion partielle du gaz de pyrolyse de réagir avec le lit de coke situé dans ledit emplacement 44.

10

L'emplacement de réception 44 est de préférence délimité par une grille qui maintient le coke et laisse passer les cendres issues de la réduction du coke, qui sont récupérées dans un cendrier 45 situé sous la grille puis évacuées par une conduite 46.

15

Avantageusement, le dispositif est équipé de moyens de mise en dépression de la zone de réduction 4 de manière à assurer une circulation du gaz issu de la combustion partielle du gaz de pyrolyse, à travers le lit de coke présent dans la zone de réduction 4.

20

Ledit passage de communication 42 de la zone de pyrolyse 2 vers la zone de réduction 4 comprend une pente descendante depuis la zone de pyrolyse 2 jusqu'à la zone de réduction 4 pour permettre la collecte par gravité du coke dans son emplacement de réception 44. Ladite pente 42 forme la paroi de fond
25 de la zone de pyrolyse.

Ladite pente 42 délimite en coopération avec la paroi périphérique interne de la zone de pyrolyse une sortie d'évacuation du résidu solide du combustible après pyrolyse, de hauteur inférieure à la distance d'écartement entre les
30 parois périphériques interne et externe de la zone de pyrolyse 2. Ainsi, le combustible solide est évacué de la zone de pyrolyse par la pente 42 vers la zone de réduction 4 seulement après pyrolyse dudit combustible solide, c'est-

à-dire sous la forme d'un résidu solide dudit combustible, de dimension inférieure à la dimension du combustible solide non encore pyrolysé.

La pente 42 s'étend autour de l'axe de la zone de pyrolyse 2 (confondu avec
5 l'axe de la zone de combustion 3) et s'étend également de la zone de pyrolyse 2 jusqu'à une zone située entre la zone de combustion 3 et la zone de réduction 4, au droit de la zone de combustion 3, pour former une section de passage de la zone de combustion 3 à la zone de réduction 4 de dimension inférieure à la dimension de la section de la zone de combustion 3.

10

La pente 42 forme ainsi une restriction de passage, ce qui augmente la turbulence dans les écoulements gazeux entre la zone de combustion 3 et la zone de réduction 4, et favorise le mélange local comburant/ gaz de pyrolyse dans la zone de combustion 3. D'autre part, une telle restriction de passage
15 permet d'améliorer le mélange local comburant / gaz de pyrolyse d'un point de vue macroscopique de manière à limiter le risque de présence de zones relativement froides par où pourraient passer les goudrons sans être craqués.

Ledit dispositif comprend également une zone de circulation 5 du gaz issu de
20 la réduction du coke, configurée pour permettre audit gaz de circuler autour de la zone de pyrolyse 2 pour transmettre au moins une partie de sa chaleur à la zone de pyrolyse 2 par conduction avec la paroi périphérique externe de ladite zone de pyrolyse 2.

25 Ladite zone de circulation 5 du gaz est délimitée entre la paroi périphérique externe de la zone de pyrolyse 2 et une autre paroi périphérique, par exemple la paroi périphérique externe du dispositif, qui entoure à écartement ladite paroi périphérique externe de la zone de pyrolyse 2.

30 Ladite zone de circulation 5 comprend un passage de communication 51 avec la zone de réduction 4 et une sortie de gaz 52 permettant au gaz d'être récupéré pour faire fonctionner un équipement adapté.

Dans l'exemple illustré à la figure 3, ledit dispositif comprend des moyens de filtration 40 permettant de filtrer le gaz issu de la réduction du coke et de réinjecter les particules solides contenues dans ledit gaz, dans la zone de
5 réduction 4.

Lesdits moyens de recirculation 40 comprennent une entrée 41 de gaz débouchant dans ladite zone de réduction 4, un cyclone 49, une sortie 47 de réinjection des particules solides, telles que poussières ou cendres, dans ladite
10 zone de réduction 4 et une sortie 48 du gaz filtré communiquant avec la zone de circulation 5 qui s'étend autour de la zone de pyrolyse 2.

Avantageusement, la matière organique utilisée comme combustible solide dans le dispositif selon l'invention présente un taux d'humidité de moins de
15 50% (base sèche). On peut citer notamment les combustibles suivants :

- le bois et ses dérivés non contaminés, tels que sciures, plaquettes forestières, écorces ;
- les litières de volailles ;
- le bois adjuvanté ;
- 20 • les déchets verts ;
- une fraction organique des ordures ménagères ;
- une fraction plastique des ordures ménagères ;
- les plastiques ;
- les pneus.

25

Comme illustré aux figures 2 et 3, le dispositif selon l'invention peut comprendre des moyens de séchage 6 du combustible solide communiquant avec l'entrée 21 de la zone de pyrolyse 2 pour le séchage du combustible solide préalablement à son introduction dans ladite zone de pyrolyse 2.

30

Comme illustré aux figures 2 et 3, ledit dispositif peut être muni de moyens d'injection 61 de vapeur d'eau dans la zone de réduction 4, de préférence de la

vapeur d'eau issue des moyens de séchage 6. D'autres gaz peuvent également être injectés par une conduite 62 au niveau de la zone de réduction 4.

- 5 Le dispositif présentant une paroi externe 10, au moins une partie de la paroi externe du dispositif comprend des moyens d'isolation thermique. En particulier, on peut prévoir que ladite paroi externe du dispositif soit revêtue d'une couche d'isolation thermique.
- 10 Le dispositif tel que décrit ci-dessus permet de mettre en œuvre un procédé de transformation d'un combustible solide en gaz de la manière suivante. Ce procédé est décrit ci-dessous pour un dispositif de transformation correspondant au dispositif illustré à la figure 1.
- 15 Le préchauffage du gazogène est réalisé à l'aide du brûleur 33 par alimentation en comburant 31, ici de l'air, et en un combustible 32, de préférence du propane 32, ou par exemple du syngaz ou un autre gaz combustible. Le gazogène peut également être préchauffé par un écoulement de gaz chaud issu de gaz d'échappement ou de toute autre source de chaleur.
- 20 Une fois que la température de la zone de pyrolyse du gazogène est supérieure à la température de démarrage, par exemple 500°C, le combustible solide stocké dans la zone de stockage 9 est amené dans la zone de pyrolyse 2. Le bois se décompose afin de produire un gaz de pyrolyse et un résidu
- 25 carboné formant le coke.

Le gaz de pyrolyse passe ensuite dans la zone de combustion 3 et se brûle partiellement avec l'air 31 injecté. Le débit de propane 32 injecté est diminué progressivement lorsque la production du gaz pyrolyse augmente pour

30 finalement être stoppé en fonctionnement continu. Autrement dit, le propane présente une fonction d'allumage et de préchauffe.

Grâce à la force de gravitation, le coke issu de la pyrolyse glisse le long de la pente 42 et tombe sur la grille 44 pour former un lit de réduction.

Le gaz issu de la combustion partielle du gaz de pyrolyse dans la zone de combustion 3 passe dans la zone de réduction 4 pour réagir avec le coke afin d'enrichir la teneur du gaz produit en H₂ et en CO.

On peut prévoir que ledit dispositif comprenne une double-paroi, par exemple la zone 5 illustrée aux figures 1 à 3, chauffée par un moyen externe, tel qu'une autre source de chaleur, la combustion d'une partie du syngaz, des gaz d'échappement de moteur, une turbine ou une chaudière, pour diminuer le temps de démarrage du procédé et améliorer son fonctionnement.

Le préchauffage de l'air 31 injecté dans la zone de combustion 3 peut être effectué en récupérant la chaleur des gaz produits et/ou de la chaleur dégagée par le dispositif et/ou à partir de toute autre source de chaleur.

Le procédé décrit ci-dessus peut fonctionner avec un gaz 31 autre que l'air pour former le comburant injecté dans la zone de combustion 3 : oxygène pur, air enrichi en oxygène.

Préférentiellement, aucun mécanisme, y compris pour le convoyage du combustible, n'est situé dans une zone chaude afin d'éviter des complications techniques.

Grâce à une telle conception du dispositif selon l'invention, le combustible solide n'est jamais brûlé directement, ni mis en contact avec le comburant injecté dans la zone de combustion. Par conséquent, l'essentiel des polluants éventuels (chlore, métaux) reste à l'état solide dans les cendres ou dans le filtre à particules. Les émissions de dioxines et de métaux gazeux sont donc fortement réduites comparativement à un procédé de combustion classique.

Le dispositif selon l'invention forme un gazogène d'utilisation simple et de faible coût. En effet, la transformation du combustible solide en combustible gazeux avec un tel dispositif selon l'invention est simple à mettre en œuvre, efficace, respectueuse de l'environnement et relativement peu onéreuse pour
5 la valorisation du combustible solide.

En outre, la pyrolyse du combustible solide permet de générer un gaz de pyrolyse dont l'oxydation ne nécessite qu'une faible quantité d'oxygène à injecter, ce qui permet de limiter la production de composés polluants tels que
10 les dioxines. Un tel dispositif permet ainsi de réduire encore les émissions polluantes.

Comme rappelé ci-dessus, le syngaz obtenu par transformation du combustible solide peut être utilisé de manière fiable et efficace dans diverses applications :
15 chaudière, moteur à combustion interne, turbine, pile à combustible, cogénération même à petite échelle, etc...

REVENDEICATIONS

1. Dispositif pour la transformation d'un combustible comprenant des
5 composants solides, dit combustible solide, en un combustible gazeux,
ledit dispositif comportant une zone de pyrolyse (2) et une zone de combustion
(3) munie de moyens de combustion (31, 32, 33), distincte de la zone de
pyrolyse (2) et entourée par ladite zone de pyrolyse, un chemin (23) de
10 passage entre la zone de pyrolyse (2) et la zone de combustion (3) et des
moyens de mise en circulation de gaz,
caractérisé en ce que le dispositif comprend des moyens d'introduction du
combustible solide dans ladite zone de pyrolyse, ladite zone de pyrolyse
comportant des moyens de pyrolyse aptes à décomposer ledit combustible
solide en un gaz de pyrolyse et en un résidu de pyrolyse solide, appelé coke,
15 en ce que la zone de combustion (3) est agencée avec les moyens
d'introduction du combustible solide et la zone de pyrolyse de sorte que le
combustible solide n'est pas en contact directement avec le comburant destiné
à être injecté dans la zone de combustion,
et en ce que les moyens de mise en circulation de gaz sont agencés pour faire
20 circuler ledit gaz de pyrolyse par ledit chemin (23) de passage, depuis ladite
zone de pyrolyse (2) jusque dans la zone de combustion (3).
2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite zone de
combustion (3) est logée de manière coaxiale dans ladite zone de pyrolyse (2).
- 25
3. Dispositif selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que ledit
dispositif comprend une zone de réduction (4) qui présente un passage de
communication (42) avec la zone de pyrolyse (2) pour la collecte du coke, issu
de la pyrolyse du combustible solide, un emplacement de réception (44) dudit
30 coke et un passage de communication (43) avec la zone de combustion (3)
pour l'arrivée dans ladite zone de réduction (4) du gaz issu de la combustion du
gaz de pyrolyse afin d'enrichir au moins en hydrogène ledit gaz issu de la
combustion du gaz de pyrolyse.

4. Dispositif selon la revendication 3, caractérisé en ce que ledit passage de communication (42) comprend une pente descendante depuis la zone de pyrolyse (2) jusqu'à la zone de réduction (4) pour permettre la collecte par gravité du coke dans son emplacement de réception (44),
5 et en ce que, ladite zone de pyrolyse (2) étant de forme annulaire et délimitée entre une paroi périphérique externe et une paroi périphérique interne, ladite pente (42) délimite avec ladite paroi périphérique interne, une sortie, pour le résidu solide issu de la pyrolyse du combustible solide, de hauteur inférieure à
10 la distance d'écartement desdites parois périphériques entre elles.

5. Dispositif selon l'une des revendications 3 ou 4, caractérisé en ce que ledit dispositif comprend des moyens de filtration (40) du gaz issu de la réduction du coke configurés pour filtrer ledit gaz et réinjecter des particules solides
15 contenues dans ledit gaz, à l'intérieur de la zone de réduction (4).

6. Dispositif selon l'une des revendications 3 à 5, caractérisé en ce que ladite zone de réduction (4) est située au moins partiellement sous ladite zone de combustion (3) et/ou sous ladite zone de pyrolyse (2).
20

7. Dispositif selon l'une des revendications 3 à 6, caractérisé en ce que ledit dispositif comprend une zone de circulation (5) du gaz issu de la réduction du coke, configurée pour permettre audit gaz de circuler autour de la zone de pyrolyse (2) pour transmettre au moins une partie de sa chaleur à la zone de
25 pyrolyse (2) par conduction avec une paroi de ladite zone de pyrolyse (2).

8. Dispositif selon l'une des revendications 3 à 7, caractérisé en ce que ledit dispositif comprend des moyens d'injection (61) de vapeur d'eau dans la zone de réduction (4).
30

9. Dispositif selon l'une des revendications 3 à 8, caractérisé en ce que ladite zone de réduction (4) est située au moins partiellement entre ladite zone de combustion (3) et ladite zone de pyrolyse (2) en entourant la zone de

combustion (3).

10. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que ladite zone de combustion (3) et ladite zone de pyrolyse (2) comprennent une paroi
5 de séparation commune (320).

11. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que lesdits moyens de combustion (31, 32, 33) comprennent une arrivée (31) de comburant et des moyens d'amorçage (32, 33) de la réaction entre le
10 comburant et le gaz de pyrolyse.

12. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que ledit dispositif comprend des moyens de séchage (6) du combustible solide communiquant avec une entrée (21) de la zone de pyrolyse (2) pour le séchage
15 du combustible solide préalablement à son introduction dans ladite zone de pyrolyse (2).

13. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 12, caractérisé en ce que, le dispositif présentant une paroi externe, au moins une partie de la paroi externe
20 du dispositif comprend des moyens d'isolation thermique.

14. Procédé de transformation d'un combustible comprenant des composants solides, dit combustible solide, en un combustible gazeux, à l'aide d'un dispositif conforme à l'une des revendications 1 à 13,
25 caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :

- a) pyrolyse du combustible solide dans la zone de pyrolyse pour décomposer ledit combustible solide en un gaz de pyrolyse et en un résidu de pyrolyse solide, appelé coke,
- b) combustion partielle dudit gaz de pyrolyse dans ladite zone de combustion,
30 en l'absence dudit combustible solide dans ladite zone de combustion.

15. Procédé selon la revendication 14, caractérisé en ce que pour l'amorçage de ladite transformation, la zone de combustion (3) est préchauffée, et en ce

que, une fois ladite transformation amorcée, le préchauffage est réduit.

16. Procédé selon la revendication 15, caractérisé en ce que la zone de combustion (3) est préchauffée à l'aide d'un brûleur (33).

5

17. Procédé selon la revendication 15 ou 16, caractérisé en ce que, une fois ladite transformation amorcée, le préchauffage est arrêté.

18. Procédé selon l'une des revendication 14 à 17, caractérisé en ce que ledit
10 procédé comprend également l'étape supplémentaire suivante :

c) réduction du gaz issu de la combustion partielle du gaz de pyrolyse pour enrichir en dihydrogène ledit gaz.

19. Procédé selon la revendication 18, caractérisé en ce que ladite réduction
15 du gaz issu de la combustion partielle du gaz de pyrolyse est réalisée par réaction entre ledit gaz et le coke issu de la pyrolyse du combustible solide.

20. Procédé selon la revendication 18 ou 19, caractérisé en ce que le gaz issu
20 de la réduction circule autour de la zone de pyrolyse (2) pour transmettre au moins une partie de sa chaleur à la zone de pyrolyse (2).

21. Procédé selon l'une des revendications 14 à 20, caractérisé en ce que ledit combustible solide est amené dans la zone de pyrolyse (2) et est absent de la zone de combustion (3).

25

22. Procédé selon la revendication 21, caractérisé en ce que l'amenée du combustible solide dans la zone de pyrolyse (2) est réalisée après séchage.

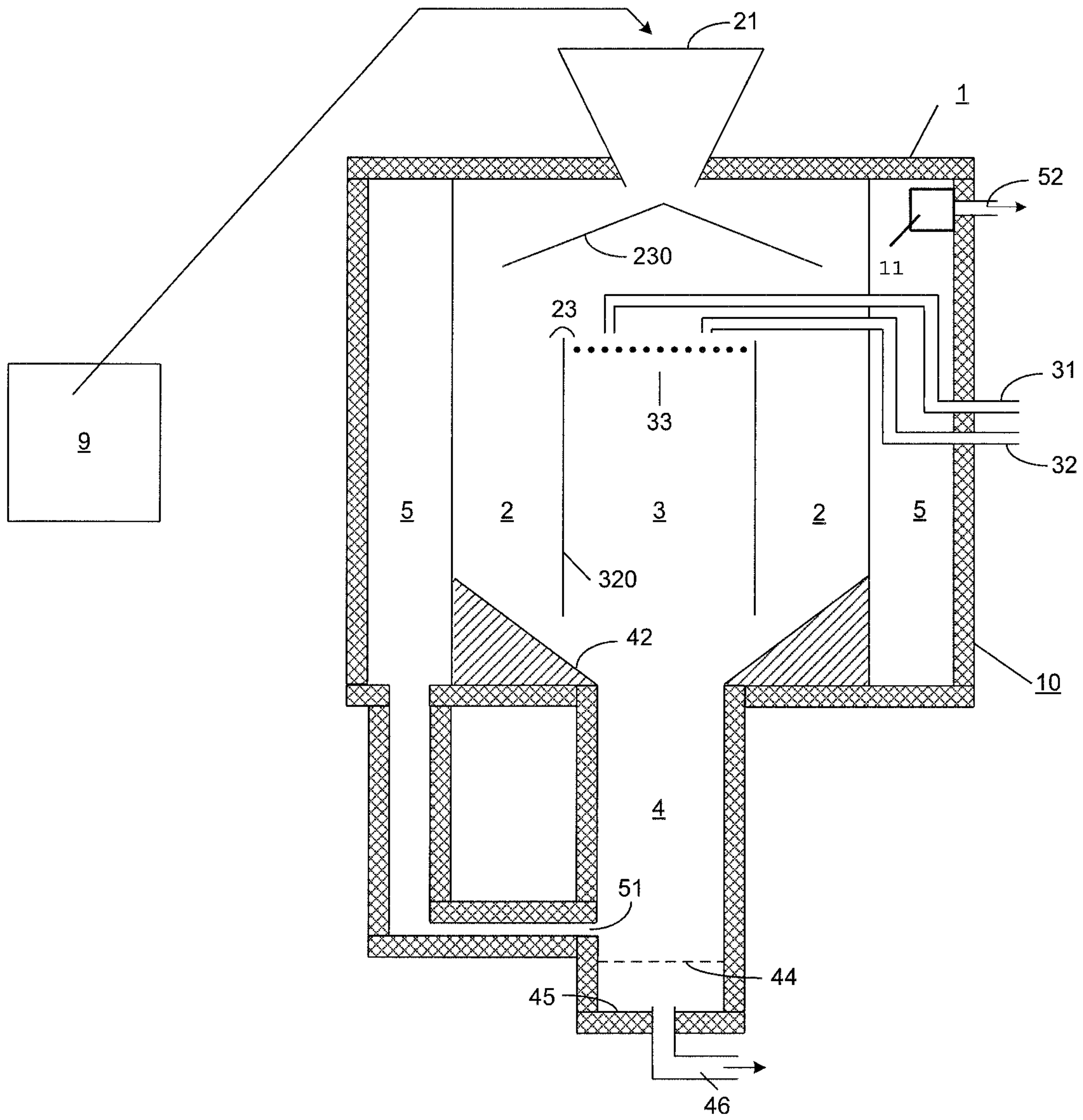


FIG. 1

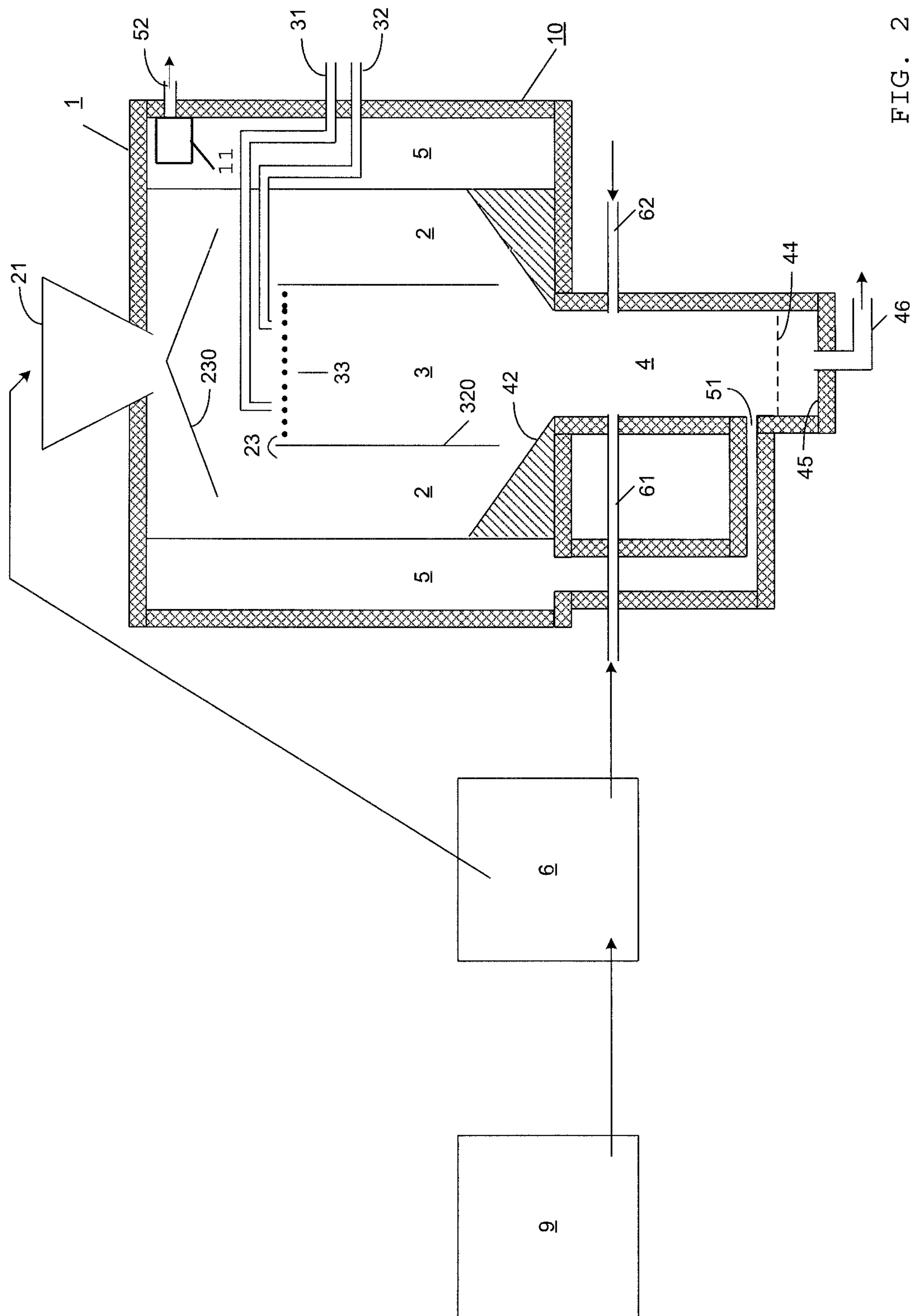


FIG. 2

